

百米 U75V 钢轨矫直前冷却过程弯曲变形的有限元分析

李 革 贾宝华 姜 旭

(内蒙古科技大学建筑与土木工程学院, 包头 014010)

摘 要 通过研究百米钢轨冷却的边界条件, 采用三维瞬态非线性有限元法计算分析了百米 U75V 平直钢轨矫直前冷却过程中的弯曲变形变化规律。结果表明, 平直钢轨在冷却过程中的弯曲变形是一个循环反复的过程, 但钢轨最终是弯向轨头的; 在考虑钢轨与冷床摩擦作用的情况下, 平直钢轨终冷后, 其变形特点是中间平直、两端弯曲, 端部弯曲范围约为 18 m。

关键词 百米 U75V 钢轨 矫直前钢轨弯曲度 有限元法

Finite Element Analysis on Bending Deformation of 100-Meter U75V Steel Rail during Cooling Process before Straightening

Li Ge, Jia Baohua and Jiang Xu

(Architecture and Civil Engineering School, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010)

Abstract The regularity of bending of 100 m U75V steel straight rail during cooling process before straightening has been calculated by analyzing the boundary conditions of cooling of 100 m rail and using three-dimensional instantaneous non-linear finite element method. Results show that the bending deformation of the straight steel rail during cooling process is a repeat-cycling process, but the rail eventually is bent to the rail head; with considering the friction between steel rail and cooling bed, after the straight steel rail finishing cooling the deforming feature of rail is straight at middle part, bent at both ends and scope of bent ends covering 18 m.

Material Index 100-m U75V Steel Rail, Bending of Rail before Straightening, Finite Element Method

百米钢轨矫直前冷却过程产生的弯曲变形对钢轨矫直后的平直度和残余应力有很大影响^[1,2]。本文基于传热学理论、热弹塑性分析理论和接触分析的基本原理, 采用三维瞬态非线性有限元法计算分析了百米 U75V 平直钢轨冷却过程中的弯曲变形变化规律。

1 有限元模型的建立

1.1 有限元网格划分

本文中的钢轨采用柔性体、冷床采用解析刚体(刚体平面)来建模, 在钢轨和冷床接触的位置设置点-面接触来模拟两者之间摩擦接触效应。钢轨选用 ABAQUS 单元库中的热-应力耦合单元 C3D8T 进行网格划分, 冷床无需划分网格。由于现场冷却过程中钢轨只在离端部长为 20 m 的范围内发生大的变形, 而中间部分比较平直, 同时考虑到计算机运算速度的影响, 因此本文选取离端部 32 m 长的钢轨进行数值模拟计算, 网格划分如图 1 所示, 钢轨断面基本尺寸(mm): 钢轨高度 176 ± 0.6 , 轨头宽度 73 ± 0.5 , 轨腰厚度 $16.5^{+1.0}_{-0.5}$, 轨底宽度 150 ± 1.0 。

1.2 钢轨的物理力学参数

钢轨的化学成分(%): 0.70~0.78C、0.50~

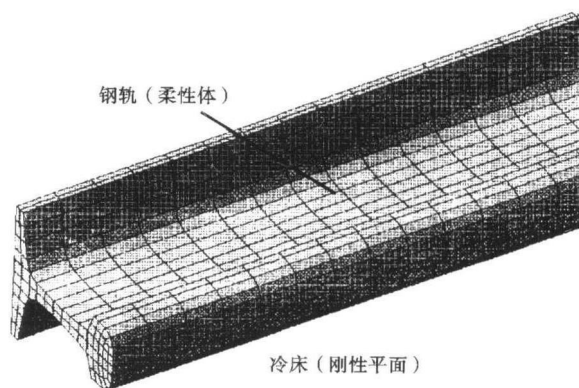


图 1 有限元计算模型及网格划分图

Fig. 1 Calculated model of finite element method and mesh division

0.70Si、0.75~1.05Mn、 $\leq 0.025P$ 、0.008~0.025S、0.04~0.08V。热物理参数^[3], 力学参数在对开式大气高温炉、WDW-200D 微机控制电子式万能试验机和 Gleeble-1500 型材料热模拟试验机上测得, 见表 1 和图 2(a)。计算过程中采用 Von-Misses 屈服准则和随动强化准则。

1.3 初始条件和边界条件的确定

表 1 U75V 钢的物理参数

Table 1 Physical parameters of U75V steel

温度/℃	弹性模量/GPa	泊松比	屈服应力/MPa
20	175.53	0.30	564.85
400	125.24	0.32	372.71
550	85.14	0.35	214.72
650	47.52	0.37	81.98
750	30.48	0.38	39.56
950	10.08	0.40	22.50

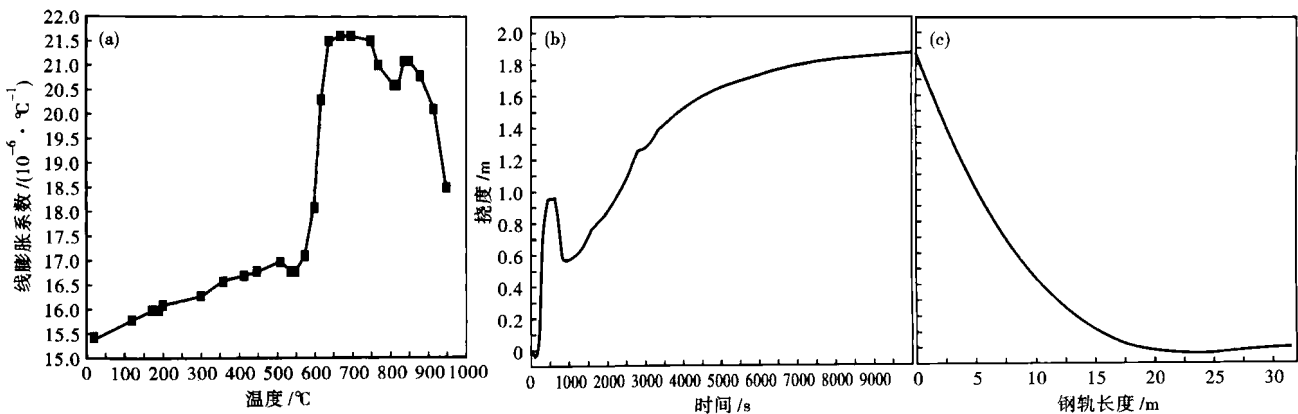


图 2 (a) U75V 钢的热膨胀系数(参考温度 1 000 ℃); (b) 钢轨自由端的挠度-时间曲线; (c) 钢轨终冷后的挠度曲线图

Fig. 2 (a) Thermal expansion coefficient of U75V steel, reference temperature 1 000 ℃; (b) Deflection-time curves for free end of rail; (c) Deflection curve of finishing cooling rail

行模拟计算的初始条件为:轨底中心温度 820 ℃,环境温度 30 ℃,轨头轨底温差 75 ℃,钢轨平直、无初始应力。

2 计算结果分析

由图 2(b)可以看出,钢轨的冷却过程的主要阶段为:(1)冷却初期 100 s 内,钢轨变形略有向轨底弯曲的趋势,在 90 s 时达到极值 35 mm;(2)150 ~ 400 s 钢轨向轨头弯曲,在 400 s 时达到极值 960 mm;(3)400 ~ 650 s 钢轨基本没有发生变形,为等量膨胀;(4)650 ~ 900 s 钢轨向轨底弯曲,在 900 s 时达到极值 570 mm;(5)800 ~ 10 000 s 钢轨向轨头弯曲,但变形速率趋于平缓,在终冷时,即 10 000 s 时达到最终的弯曲变形,最大挠度为 1.88 m。

在变形改变趋势明显的 150 ~ 800 s,弯曲变形主要是由于材料发生固态相变造成的;而其他时间段的变形主要是由于钢轨各部位温度下降速率不同造成的。钢轨的弯曲变形是由各个部位的温度、固态相变、线膨胀系数、温度变化速率以及应力应变关系和初始状态 6 种因素共同作用的结果。

由图 2(c)可以看出,在考虑钢轨与冷床摩擦作用的情况下,平直钢轨终冷后,其变形特点是中间平直、端部弯曲,端部弯曲范围约为 18 m;钢轨自由端的最大位移为 1.88 m。

钢轨和冷床之间的摩擦系数为 0.3,钢轨与外部环境之间对流换热以及钢轨与外部环境之间辐射换热的计算,见文献[3,4]。计算中对冷床施加全约束,钢轨的一端面自由、另一端面施加对称约束,在垂直于冷床方向上施加重力荷载,同时对钢轨还要施加初始温度场等。其中初始温度场根据实测数据拟合得到,是位置的函数。根据现场实测数据,进

3 结论

(1)百米 U75V 平直钢轨在冷却过程中的弯曲变形是一个循环反复的过程,但钢轨最终是弯向轨头的。

(2)在考虑钢轨与冷床摩擦作用的情况下,平直钢轨终冷后,其变形特点是中间平直、两端弯曲,端部弯曲范围约为 18 m。

(3)平直钢轨终冷后挠度曲线的计算结果可作为预弯工艺中预反弯量的参考值。

包头市重大科技攻关资助项目(2006Z1006)

参考文献

- 郭 华.降低钢轨矫前弯曲度试验研究.四川冶金,2002,24(5):37
- 张祖光.寻求提高钢轨质量的新途径.攀钢研究院论文集,1999:147
- 李 革,崔海燕,陈 林.百米 U75V 钢轨矫直前冷却过程温度场的有限元分析.特殊钢,2009,30(1):1
- 陈家祥.连续铸钢手册.北京:冶金工业出版社,1990

李 革(1967-),男,硕士,教授,1994 年西安交通大学毕业,计算力学、成型过程的数值模拟等。

收稿日期:2009-12-19